

Обґрунтування робочої поверхні прикочуючого котка бурякової сівалки

Важливу роль в процесі посіву цукрових буряків відіграє прикочування висіяного насіння котком посівної секції. В процесі роботи прикочуючий коток повинен забезпечувати підтягування капілярної вологи до насіння і оптимальні умови для його проростання, а саме прикочування насіння по обидва боки борозни та залишати над насінням шар неуцільненого ґрунту.

сприятливі умови проростання, прикочуючий коток, процес роботи котка

Згідно агротехнічних вимог до посіву насіння цукрових буряків повинно бути вкладене на ущільнене насіннєве ложе, а для підтягування капілярної вологи прикочене котком секції бурякової сівалки, причому ущільнена зона повинна знаходитись по обидва боки від насінини і не перевищувати $1,1-1,2 \text{ г/см}^3$. Для можливості стрімкого вільного проростання рослин безпосередньо над насінниною повинен знаходитись неуцільнений шар дрібно-грудкуватого ґрунту. Але сучасні конструкції прикочуючих котків секцій бурякових сівалок вказані вимоги не виконують.

Експериментальні дослідження в роботі [1] підтверджують наявність полів напружень і деформацій внутрішнього ґрунтового масиву під дією ґрунтообробних машин, в результаті чого можна стверджувати, що характер їх розподілення є основною характеристикою процесу прикочування насіння цукрових буряків. Тому для виконання умов агротехніки необхідно, щоб профіль робочої поверхні прикочуючого котка міг забезпечити необхідну конфігурацію полів напружень і деформацій, які в свою чергу впливають на формування щільності ґрунту в місці залягання насіння.

Якість ущільнення ґрунту прикочуючим котком бурякової сівалки залежить передусім від деформативних властивостей як котка так і ґрунту. Аналіз досліджень таких вчених, як Кушнар'ов А.С., Рожков П.Н., Бауков А.В., Чубарін М.І., Глуховський В.С., Кравченко В.І та ін. [2,3,4,5,6], які були проведені по визначенню закономірностей поведінки ґрунту при прикочуванні різними типами котків показав, що основними факторами, які впливають на вказаний процес, є конструктивні особливості робочого органу та фізико – механічні властивості ґрунту. Але на сьогоднішній день не створено прикочуючого котка, який би в повній мірі задовольняв вимоги агротехніки до прикочування насіння цукрових буряків, тому необхідні додаткові дослідження по обґрунтуванню поверхонь прикочуючих котків.

Для математичного описання процесу взаємодії прикочуючого котка з ґрунтом та отримання картин розподілення полів напружень і деформацій можна використати методи механіки суцільного середовища. Дослідження в механіці суцільних середовищ показують, що гіпотеза суцільності не приводить до великих відхилень від результатів експериментальних досліджень. При достатньо великому об'ємі деформованого матеріалу поля напружень і деформацій, побудованих як на гіпотезі суцільності, так і на гіпотезі дискретної будови матеріалу, мають однакові рішення. Ґрунт можна вважати суцільним квазіоднорідним середовищем, поведінку якого під навантаженням визначає співвідношення напружень, деформацій та їх похідними за часом.

Для забезпечення вимог агротехніки нами розроблений теоретичний профіль [7] удосконаленого прикочуючого котка (рис. 2), який представляє собою криву, що

складається із декількох простих елементів з плавним переходом по ширині захвату котка. Кожен елемент призначений для виконання визначеної функції. Оскільки над насінною повинен знаходитись неущільнений шар ґрунту, то посередині ширини захвату котка виконується радіальна впадина. При аналізі роботи конусних котків [4] було з'ясовано, що при їх заглибленні максимальні напруження виникають на кінці конуса котка, плавно зменшуючись до поверхні ґрунту. Використовуючи конусний елемент, була утворена внутрішня конфігурація профілю котка, кінці конусної поверхні заокруглювались для більш плавного розподілу напружень в ґрунті. Оскільки в процесі експлуатації прикочуючих котків з металевим каркасом було виявлено ряд недоліків в їх роботі, то в процесі проектування конструкції нового робочого органу нами була надана перевага шині атмосферного тиску.

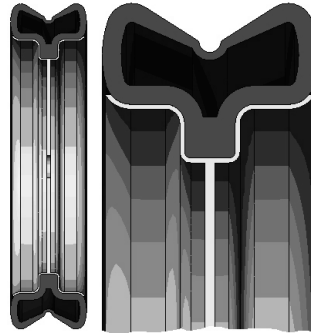


Рисунок 2 – Удосконалений прикочуючий коток

Процес ущільнення ґрунту котками в основному відбувається без порушення його граничної рівноваги і в першу чергу висуваються властивості пружності, тому дослідження напруженого стану під час цієї фази можна звести до задачі про взаємодію двох лінійно – деформованих тіл, які мають різну жорсткість. Рішення цієї задачі дозволить обґрунтувати поперечну форму прикочуючого котка і його технологічні параметри. Взаємодію котка з ґрунтом можна уявити як процес стискування двох лінійно-деформуючих тіл, що мають різні модулі деформації.

В силу симетрії просторову задачу взаємодії котка з ґрунтом можна звести до розв'язання двох плоских задач, в яких форми стискуваних тіл описуються функціями:

$$y_1 = f_1(x) \text{ і } y_2 = f_2(x),$$

причому

$$y = y_1 + y_2 = f_1(x) + f_2(x). \quad (1)$$

На ділянках дотику $y = 0$:

$$f_1(x) + f_2(x) = 0. \quad (2)$$

В результаті стискування тіла набувають деякого переміщення вздовж y : α_1 і α_2 .

Тоді $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ є зближенням між стиснутими тілами.

Крім зазначених переміщень спостерігаються і пружні переміщення U_1 і U_2 вздовж осі Ox . Остаточне повне пружне переміщення вздовж осі Oy дорівнює:

$$V_1 + V_2 = \alpha - f_1(x - U_1) - f_2(x - U_2). \quad (3)$$

У випадку малих переміщень вздовж осі Ox маємо:

$$f_1(x - U_1) \approx f_1(x) \text{ і } f_2(x + U_1) \approx f_2(x).$$

звідки:

$$V_1 + V_2 = \alpha - f_1(x) - f_2(x). \quad (4)$$

Будемо вважати переміщення всіх точок ділянки контакту рівними і, нехтуючи тертям, розглядаємо ґрунт як лінійно-деформовану напівплощину, до границі якої прикладено нормальний тиск $P(x)$. Передусім використовуємо класичну, відому в теорії пружності, задачу Фламена [8].

Виділимо на ділянці контакту елементарний відрізок від точки $x = t$ до $x = t + dt$, на якому діє сила $P(t)dt$.

Під впливом зосередженої сили P переміщення на границі ділянки контакту дорівнює:

$$V = -\nu P \ln \frac{1}{|t-x|} + C, \quad (5)$$

де C - стала;

$|t-x|$ - відстань між точками осі Ox з абсцисами x і t ;

ν - деформаційна стала, що характеризує деформаційні властивості ґрунту:

$$\nu = \frac{2}{\pi E_0} (1 - \mu^2), \quad (6)$$

де E_0 - модуль деформації (в плоскій задачі модуль деформації має розмірність Н/м²);

μ - коефіцієнт бічного розширення.

За даними які отримані експериментальним шляхом [4,11,12,13] можна прийняти такі значення деформаційних властивостей ґрунту: модуль деформації для посівного шару ґрунту (суглинистий чорнозем) який має щільність $\rho = 0,7 \dots 0,9$ кг/м³ та вологість $W = 20\%$ складає $E_0 = 1 \cdot 10^6$ Н/м²; коефіцієнт бічного розширення $\mu = 0,15$.

Останній вираз показує, що E_0 і μ не залежать від переміщення.

Сила $P(t)dt$, що прикладена до границі напівплощини, в точці $x = t$ викликає в ній елементарне переміщення в напрямку дії сили:

$$dV = -\nu P(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt + C. \quad (7)$$

Переміщення V_1 і V_2 на ділянці контакту котка і ґрунту можна визначити за виразами:

$$V_1 = \nu_1 \int_L P(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt + C; \quad (8)$$

$$V_2 = -\nu_2 \int_L P(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt + C. \quad (9)$$

Запропонована форма котка вимагає розгляду випадку, коли контакт стиснутих пружних тіл здійснюється вздовж декількох відрізків вісі Ox (рис. 3):

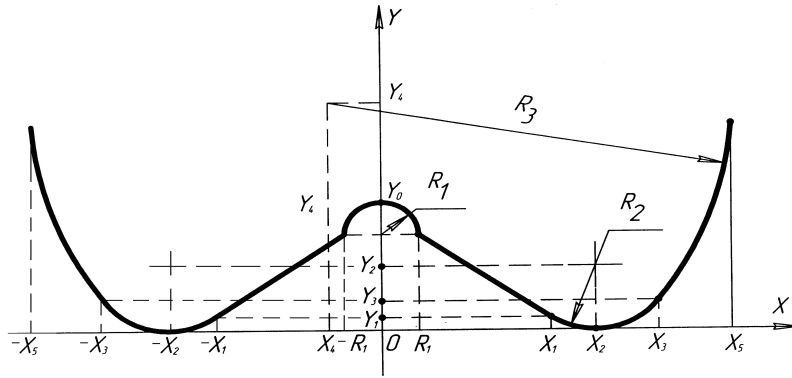


Рисунок 3 – Теоретична крива профілю прикочуючого котка

З рис. 3 можна бачити, що форма котка симетрична відносно осі Oy і описується функцією:

$$y = f(x) = \begin{cases} y_0 - R_1 + \sqrt{R_1^2 - x^2}, & 0 \leq x \leq R_1; \\ y_0 - R_1 + \frac{y_1 - y_0 + R_1}{x_1 - R_1} (x - R_1), & R_1 < x \leq x_1; \\ R_2 - \sqrt{R_2^2 - (x - x_2)^2}, & x_1 < x \leq x_3; \\ y_4 - \sqrt{R_3^2 - (x - x_4)^2}, & x_3 < x \leq x_5. \end{cases} \quad (10)$$

Згідно роботи [8] основне інтегральне рівняння контактної задачі для зазначеного випадку у загальній формі має вигляд:

$$\sum_{m=1}^n \int_{a_m}^{b_m} P(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt = f(x); \text{ де } - a_m < x < b_m, \quad m = \overline{1, n}; \quad (11)$$

Розв'язок рівняння (11) можна подати у вигляді:

$$P(x) = \frac{(-1)^{n-l+1} \left[\frac{1}{\pi} \sum_{m=1}^n (-1)^{n-m} \int_{a_m}^{b_m} \sqrt{\prod_{m=1}^n (t-a_m) \cdot (t-b_m)} \cdot \frac{f'(t) dt}{t-x} + P_{n-1}(x) \right]}{\pi \sqrt{\prod_{m=1}^n (x-a_m) \cdot (x-b_m)}}, \quad (12)$$

де $a_m < x < b_m, \quad m = \overline{1, n};$

$P_{n-1}(x)$ - поліном $n-1$ ступеню:

$$P_{n-1}(x) = C_0 + C_1 x + C_2 x^2 + \dots + C_{n-2} x^{n-2} - p \cdot x^{n-1}; \quad (13)$$

$$p - \text{стискуюча сила, тобто: } p = \sum_{m=1}^n \int_{a_m}^{b_m} P(t) dt \quad (14)$$

$C_0, C_1, C_2 \dots C_{n-2}$ - коефіцієнти поліному $P_{n-1}(x)$.

Оскільки запропонована форма котка є симетричною відносно осі Oy , то враховуючи властивості інтегралів та підставляючи похідну виразу (10) в рівняння (12) та після перетворень остаточно одержуємо:

$$\begin{aligned}
P(x) = \frac{2Q}{\pi^2} & \left[-\frac{x}{\sqrt{R_1^2 - x^2}} \ln \frac{\left| \frac{1}{R_1 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{R_1 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} \right)^2 - \left(\frac{b}{b^2 - x^2} \right)^2} \right|}{\left| -\frac{1}{x} - \frac{x}{b^2 - x^2} + \sqrt{\left(-\frac{1}{x} - \frac{x}{b^2 - x^2} \right)^2 - \left(\frac{b}{b^2 - x^2} \right)^2} \right|} + \right. \\
& + \frac{(y_1 - y_0 + R_1)}{(x_1 - R_1)} \ln \frac{\left| \frac{1}{x_1 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{x_1 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} \right)^2 - \left(\frac{b}{b^2 - x^2} \right)^2} \right|}{\left| \frac{1}{R_1 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{R_1 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} \right)^2 - \left(\frac{b}{b^2 - x^2} \right)^2} \right|} + \\
& + \frac{(x - x_2)}{\sqrt{R_2^2 - (x - x_2)^2}} \ln \frac{\left| \frac{1}{x_3 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{x_3 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} \right)^2 - \left(\frac{b}{b^2 - x^2} \right)^2} \right|}{\left| \frac{1}{x_1 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{x_1 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} \right)^2 - \left(\frac{b}{b^2 - x^2} \right)^2} \right|} + \\
& \left. + \frac{(x - x_4)}{\sqrt{R_3^2 - (x - x_4)^2}} \ln \frac{\frac{b}{b^2 - x^2}}{\left| \frac{1}{x_3 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{x_3 - x} - \frac{x}{b^2 - x^2} \right)^2 - \left(\frac{b}{b^2 - x^2} \right)^2} \right|} \right] \quad (15)
\end{aligned}$$

де $b = 0,5l$ - напівширина котка;

l - ширина котка;

$Q = \frac{P}{l}$ - сила, яка розподілена на одиницю довжини.

Підставляючи (15) в (8) і (9) маємо:

розподіл деформацій котка

$$V_1(x) = \frac{2}{\pi E_{\sigma 1}} (1 - \mu_1^2) P(x); \quad (16)$$

розподіл деформацій ґрунту

$$V_2(x) = \frac{2}{\pi E_{\sigma 2}} (1 - \mu_2^2) P(x); \quad (17)$$

загальна деформативна функція

$$\Delta V(x) = V_2 - V_1 = \frac{2P(x) [(1 - \mu_2^2) E_{\sigma 1} - (1 - \mu_1^2) E_{\sigma 2}]}{\pi E_{\sigma 1} E_{\sigma 2}}. \quad (18)$$

Рівняння (18) дає повну уяву про роботу системи “коток – ґрунт”.

На рис. 4 наведена теоретична залежність розподілення полів напружень під експериментальним прикочуючим котком.

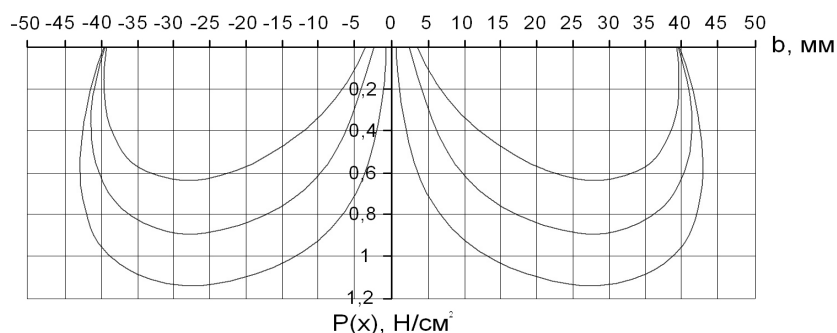
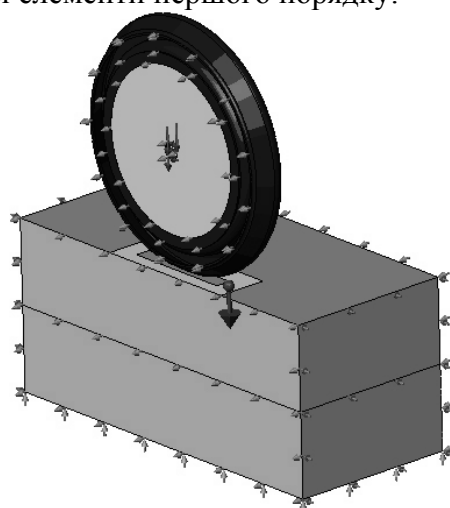
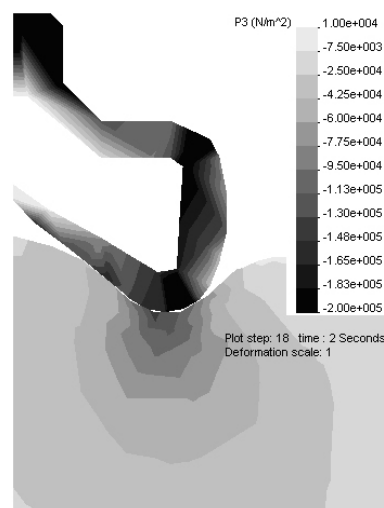


Рисунок 4 – Схема розподілення полів напружень під експериментальним прикочуючим котком

Для підтвердження теоретичних розрахунків нами була розроблена і розрахована за допомогою програмного середовища COSMOSWorks аналітична модель взаємодії прикочуючого котка з ґрунтом (рис. 5). Програмне середовище COSMOSWorks використовує для розрахунку метод кінцевих елементів придатне для моделювання процесів механіки ґрунтів [9,10]. При проектуванні моделі нами були використані наступні положення: ґрунт – це матеріал, який відповідає постулату Друкера – Прагера, котрий описує поведінку сипучих середовищ; прикочуючий коток є веденим, тому обертальний момент до отвору не прикладався; навантаження на прикочуючий коток – власна вага і сила 20 кг, прикладена вертикально до отвору; при побудові сітки кінцевих елементів для задачі механіки ґрунтів використовувались кінцеві елементи першого порядку.



а) аналітична модель взаємодії котка з ґрунтом



б) результати розрахунку в COSMOSWorks

Рисунок 5 – Аналітична модель і результати розрахунку взаємодії прикочуючого котка з ґрунтом

З рис. 5 видно, що характер розподілення полів напружень під експериментальним прикочуючим котком відповідає прийнятій гіпотезі про вплив конструктивних елементів профілю робочого органа на якість виконання технологічного процесу.

Висновки:

1. Аналіз процесу роботи серійних конструкцій прикочуючих котків бурякових сівалок показав, що їхня конструкція не в повній мірі задовольняє вимогам агротехніки до прикочування насіння цукрових буряків.

2. Теоретичні дослідження та аналітичне моделювання взаємодії прикочуючого котка з ґрунтом дали можливість спроектувати і дослідити нову конструкцію робочого органа, який би задовольняв вимогам до прикочування насіння цукрових буряків.

3. Встановлено, що характер розподілення полів напружень та деформацій під вдосконалим прикочуючим котком відповідає вимогам агротехніки і може забезпечити прикочування насіння з обох боків від борозни, залишаючи над насінням неуцільнений шар дрібногрудкуватого ґрунту.

Список літератури

- 1 Дерраф Г.А. Некоторые результаты исследований напряжений в почве. Журнал „Вестник сельскохозяйственной науки”. Алма – Ата, – № 10. – 1966. – С. 87 – 89.
- 2 Рожков П.Н., Бауков А.В., Кушнарев А.С. Обоснование поперечной формы гладких сельскохозяйственных катков. Республиканский межведомственный научно – технический сборник „Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин”, вып. 3. Издательство „Техніка”. Киев, 1973. – С. 18 – 22.
- 3 Глуховский В.С. Разработка научных основ технологии выращивания сахарной свеклы без затрат ручного труда на формировании густоты насаждения: Автореф. дис...д-ра сельхоз. наук: 06.01.14, 05.20.01 / ВНИС. – К., 1982. – 42 с.
- 4 Кушнарев А.С., Кочев В.И. Механико – технологические основы обработки почвы. – К.: Урожай, 1989. – 144 с.
- 5 Чубарин М.И. Рассадопосадочные машины. М.: Машиностроение, 1972. – 208 с.
- 6 Кравченко В.И. Совершенствование механизма прикатывающих катков пропашной сеялки. // Тракторы и сельхозмашины. – 1990. - № 3. – С. 59 – 60.
- 7 Прикочуюче колесо сівалки: Пат. № 67554 А Україна, 7 А01В29/04 / Шмат С.І., Артеменко Д.Ю., Воротнюк В.В. (Україна); КДТУ. – № 2003109302; Заявл. 15.10.2003; Опубл. 15.06.2004, Бюл. № 6. – 3 с.
- 8 Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. Гостехиздат. М, 1949. – 270 с.
- 9 Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
- 10 SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. и др. – СПб: БХВ-Петербург, 2005. – С. 8 – 162.
- 11 Луканин Ю.В. О линейной деформируемости почв. Ученые записки факультета Пензенского СХИ, вып.8. Пенза, – 1967. С.131 – 145.
- 12 Кушнарев А.С. К методике определения модулей упругости и сдвига почв. Научные труды МИМСХ, т. 17. Мелитополь, 1971. – С. 3 – 16.
- 13 Водяник И.И. Воздействие ходовых систем на почву (научные основы). – М.: Агропромиздат, 1990. – 172 с.

Важную роль в процессе прикатывания почвы над высевными семенами сахарной свеклы играет характер распределения полей напряжений и деформаций в результате воздействия рабочего органа определенной геометрической формы. Прикатывающий каток должен обеспечивать прикатывание почвы с двух сторон от рядка и оставлять над семенами участок неуплотненного слоя почвы для свободного прорастания растений. Этим вопросам посвящена настоящая работа.

The important role during a soil packing above seeds of sugar beet which have been sown plays character of distribution of fields of pressure and deformations as a result of influence of a working organ of the certain geometrical form. The covering roller should provide a soil packing from two parties from a line of an arrangement of seeds and leave above them a plot of not condensed layer of soil for free germination of plants. It of a question devotes work.